FORESTRY CANADA

Strategic Plan for Research on Climate Change

1990–1995

Forestry Canada Forêts Canada

Canada

91-03641/

FORESTRY CANADA

Strategic Plan for Research on Climate Change

1990–1995

November 1990

©Minister of Supply and Services Canada 1991
Catalogue No. Fo42-156/1991
ISBN 0-662-58217-9

Copies of this publication may be obtained free of charge from:

Forestry Canada
Science Directorate
Ottawa, Ontario
K1A 1G5

A microfiche edition of this publication may be purchased from:

Micromedia Ltd.
165 Hôtel-de-Ville St.
Hull, Quebec
J8X 3X2

Contents

Introduction 1

Strategic Considerations 2

Climate Change Issues in the Forest Sector 2

- Effects of Climate Change on the Forest 3
- Effects of Forests on Climate Change 3
- Adaptation to Climate Change 4
- Impact of Changing Crops on Forestry 4
- Changing Forestry Values in a Changing Sociological Setting 5
- International Implications of the Changing Climate 6

Forestry Research Needs 6

- Forecasting Climate 6
- Forecasting the Response of Forests 7
- Monitoring the Change 7
- Mitigating the Effects of Climate Change 7
- The Carbon Balance — A Forestry Solution 8

Forestry Canada's Strategic Initiatives and Priorities in Climate Change Research 9

- The Approach 9
- The Priorities 9
- Implementation 11

Appendix. Current Forestry Canada Research Relating to Climate Change 12

Introduction

There is good evidence to suggest that the world climate will change in the coming decades and that these changes could reduce the productivity of Canada's forests due to increased air temperatures coupled with reductions in soil moisture. Alternatively, the higher temperatures and increased levels of carbon dioxide may result in increases in growth at least in some parts of the country. Increased public interest in the climate change issue in the past year has been stimulated by an expanded awareness that measurable changes in atmospheric chemistry are already occurring.

Global climate models, based on atmospheric physics and chemistry, suggest that a general warming of the global air temperature and ocean surface will occur. This appears to be happening already, thus enhancing the credibility of the models. The scientific opinion that underpins these models has been recognized as being authoritative by senior levels in almost all governments. It was within this context that Canada recently hosted a world conference, The Changing Atmosphere: Implications for Global Security, at which world leaders in science, law, and the environment agreed that policies must be developed and implemented quickly to protect our planet's atmosphere. The leading roles of the prime ministers of Canada and Norway in the conference confirmed the high level of political recognition and commitment to the issue.

The predicted warming trend is more than the natural effect of the waning ice age and more than an artifact of urban heat-islands. It is based on observed and detectable changes in the atmosphere as a result of human activities. Temperatures and amounts of precipitation are expected to vary within regions and between seasons. The general prognosis is for a strong and sustained warming trend, more pronounced in northern latitudes and in continental climates. The degree of warming is projected to be greatest in the provinces north and west of Ontario with smaller changes elsewhere.

Canadian forest ecosystems are at risk. Forest ecosystems exist in response to local soils and climate and are governed by temperature and moisture regimes. Expected increases in global temperature are from 1.5 to 4.5° C but much greater increases, perhaps up to 10° or more, are expected in parts of the boreal forest. The implications for forestry are significant. Increased temperatures will lengthen the growing season, result in milder winter temperatures, and move climatic boundaries northward. In this fashion a southern mixedwood "climate" would become a climate zone normally inhabited by the more southerly hardwood forest. Boreal ecosystems would develop into mixedwood environments. Where moisture is abundant, forests may flourish but where it is limited, grasslands could result. The northern tundra would develop into boreal environments and, where soil conditions permit, this could develop into boreal forest. In the Maritimes and Quebec, forest growth may increase and make these forest lands more productive than at present.

The transitional period of change and adjustment poses more hazards than benefits and it will occur within decades rather than centuries, a shorter period than forest managers are accustomed to dealing with. It could become more difficult to replace harvested forests, and wildfires may move forests to different successional stages independently of forest management practices. Forests will be under increased stress as their environment becomes less "in tune" with the vegetation. Damage patterns from insects and diseases may change, particularly from pests whose distribution is now limited by temperature. Climate may also affect the dynamics of associated predators and parasites. There will be effects associated with harvesting; for instance, higher winter temperatures would result in shorter periods available for winter logging, and if snow cover is reduced, increased frost penetration may damage tree roots.

Canada's position in the world marketplace will be affected by impacts of climate change on our economy and on that of others. The greatest global-scale effects will be on the mixedwood and boreal forests, particularly in central and northern Canada, the Nordic countries, and the Soviet Union. Forestry Canada's expertise in the management of these northern forests is well developed and well respected internationally. We therefore have a major global role to play in conjunction with the small number of countries with whom we share this northern environment.

The Federal Government has a vital role to play in assessing the implications of climate change and in communicating this information to Canadians. As the lead federal agency in forestry research and development, Forestry Canada will need to exert its leadership in presenting the government with a comprehensive and effective strategy for intervention in what is possibly the most serious issue yet faced by the forestry sector. All aspects of forestry will be exposed to the projected environmental disturbances. Trees established today may face a very different environment before they reach maturity. The forest sector must be aware of these potential changes and of the need for progressive changes in forestry practices, despite the obvious gaps in scientific knowledge. Managers must make decisions and adjustments based on very limited information. Although industry is concerned with the difficulties of proof, they are probably more willing to accept "best estimate" scenarios than are scientists. The Federal Government's obligations can best be met with a strategy that is built on the traditional and acknowledged strength of Forestry Canada in scientific research and on Forestry Canada's political and fiscal influence in the forestry sector.

Forestry Canada will also contribute significantly to the government's overall efforts to deal with climate change at regional, national, and international levels. There are risks to other sectors of society which, although not the responsibility of Forestry Canada, will be addressed by federal and other public authorities and consequently by us. These risks, including potential disruption of fisheries, wildlife, and recreation, have far-reaching implications in the socioeconomic sector. Indigenous people who live in areas most affected will find habitats changing in their lifetimes and the next generation may well be living in an environment largely out of tune with its culture.

The concept of sustainable development as defined in the Forestry act is central to the responsibilities and functions of Forestry Canada. Sustainable development must therefore serve as the basis on which the department addresses the issue of climate change. Forestry Canada, recognizing that climate change is a global issue, will respond accordingly, with special attention to scientific cooperation, to interactions among competitors and trading partners, and to the creation and implementation of a global strategy for adaptation to and mitigation of the effects of climate change.

Strategic Considerations

Fundamental changes are occurring in the forest ecosystem, particularly in the forest/atmosphere/soil equilibrium. These changes will vary in time, place, and severity and can be expected to be both harmful and beneficial. Policies and strategies developed by Forestry Canada must recognize these effects and the diverse interests of the forestry community, and this strategy must demonstrate Forestry Canada's capability to develop sufficient knowledge to understand the implications of new and developing climate-induced stresses on the forest ecosystem.

Although predictions of the timing and magnitude of climate change are lacking, actions can be taken now to mitigate expected adverse effects, and policies can be developed to permit adaptation to new and changing conditions. Indeed, there are actions and policies that if adopted now will be beneficial even if the extent of climate change is minimal. All Forestry Canada programs will be reviewed and developed according to the priorities of this strategy and other Forestry Canada strategies. Research on climate change will in turn respond to the needs of those other programs. Forestry Canada will also maintain close cooperation with other interested agencies such as the Atmospheric Environment Service of Environment Canada.

Climate Change Issues in the Forest Sector

There are five major concerns that will affect policy decisions. They will highlight the interrelated and synergistic effects of a progressively changing climate on the forest community.

Adjustments will have to be made in light of the best available knowledge and from the results of process-based models of the forest ecosystem.

Effects of Climate Change on the Forest

The envisaged rate of climate change will be too fast for plants to occupy newly available habitats before further changes occur. The climate and the soil conditions largely determine the regional composition of forests. A significant climate warming will probably create suitable conditions for boreal forests to grow into the Northwest Territories and northern Quebec, much farther north than now if the winter minimum temperatures increase above current levels. The vast peatlands of northern Canada may become productive forest lands if the water table is lowered. Concurrently, tolerant hardwoods will advance into the southeastern portion of the present boreal zone.

Forests are expected to grow faster as a result of longer growing seasons and higher concentrations of carbon dioxide. Increased carbon dioxide may reduce transpiration rates in trees, enabling rapid adaptation to a drier environment. The enhanced growth of non-tree weed species and increased soil moisture deficits may cause failure of natural regeneration following harvesting. Broad-leaved weeds are expected to grow even faster, which will almost certainly cause weed control problems in reforestation programs. This may necessitate a change of species/provenances or, in some cases, complete abandonment of forest lands. Intensive forest management, including genetic manipulation, may significantly enhance growth rates over shorter rotations and hence reduce negative impacts.

While increased temperatures should enhance tree growth, soil moisture deficits may have an opposite effect. Harvesting forests in areas of low precipitation could aggravate drought conditions and further reduce precipitation. Higher temperatures are expected to increase the frequency and intensity of dry periods and increase lightning ignitions; consequently, more and larger fires can be expected. Greater amounts of fuel are expected to be available as a result of increased drying and greater tree mortality caused by insect and disease damage. While climate warming may be the underlying cause of the shift of forest boundaries, forest fires will likely be the mechanism that greatly accelerates the process. Forests may also be subjected to blowdown by extreme weather events that will be more violent and unpredictable.

Summary: Canada's forests are expected to be greatly affected by the changing atmosphere. Indirect impacts are likely to occur in relation to productivity, reforestation, harvesting, and losses due to fire, pest damage, and extreme climatic events. Effects on wildlife, fisheries, recreation, and indigenous peoples will be significant and will have to be considered in adaptation and mitigation strategies.

Effects of Forests on Climate Change

Forest ecosystems withdraw carbon from the atmosphere and build it into their biomass. Part of this biomass represents short-term storage (annual plants, leaves etc.), but much of it becomes sequestered in the woody tissues and soil for long periods. Peat, formed in areas of poor drainage, can store carbon indefinitely.

Forest harvesting activities, wildfires, and peatland drainage will interrupt this process. Some of the carbon will be rapidly released through oxidation following such events. Other wood products, such as lumber, may last for decades or centuries before decaying.

The role of forests and the use of forest resources in the carbon cycle are not fully understood. If the forests and associated peatlands can be shown to be effective carbon storage systems, enhancement of these ecosystems may alleviate the anticipated climate change. Policies can be developed to

promote the growth of woody plants by immediately reforesting harvested areas and by afforesting previously treeless areas. Preservation of peatlands and aiding their development is another proactive management strategy.

Summary: Canada's forests may play a role in sequestering atmospheric carbon in their biomass. Management options to enhance and increase long-term biomass storage in trees and soil are positive actions to reduce the impact of changing atmospheric chemistry.

Adaptation to Climate Change

Plants now adapted to their local climates will be displaced. Ecotypes of tree species suited to different conditions may need to be propagated for reforestation.

One approach is to introduce new species better suited to the changing climate. For example, Sweden has introduced exotic species of lodgepole pine at latitudes similar to those of the tree's origin but from much colder areas in North America than the climate in Swedish Lapland. In Canada, Sitka spruce from mild coastal British Columbia has been planted in the comparatively severe climate of western Newfoundland. Here the genotypes behaved differently, a small proportion of them being adapted to the colder climate and a new land race developing under stressful conditions. Some boreal species in the southern parts of their range may behave similarly. Nevertheless, changing climate will move the boundaries of known seed zones and a change of species may engender longer-term risks. At present, we cannot recommend using species other than those currently used, because they will have to survive and grow under climatic conditions similar to today's for some time before climate change takes effect. Another adaptation to climate change is short rotation forestry so the tree crop spends less time in the changing climates.

Fire control methods are well-developed in Canada and so increased incidence and severity of fire may be compensated by diverting additional resources to fire control. Losses are expected to be greatest in softwood forests during the transitional period; this will, in turn, further increase carbon dioxide emissions and thus increase the global warming rates.

Levels of utilization are increasing now in the boreal forest and there is no reason to expect that this will be reduced under conditions of climatic warming. There will be a need for greater management intervention to develop new uses for the low-quality wood that will remain in our forests. The question is, how can that resource best be used? Can this harvested wood be transformed into durable products that will ensure long-term sequestration of carbon? We must develop new harvesting and regeneration methods to encourage and retain needed soil moisture. We will need new strategies for harvesting activities on sensitive wetlands. We will also need to develop new methods to afforest peatlands that were formerly unsuitable for forest growth and that if left unforested may decay and release large quantities of carbon dioxide into the atmosphere. Other significant forestry practices to improve the carbon balance include the development of shelterbelts, afforestation of abandoned farmland, and intensive promotion of urban forestry.

Summary: Due to the nature of the problem, adaptation strategies must address all aspects of the forest ecosystem, including harvesting, reforestation, utilization, and protection practices. Other adaptations, not addressed directly by this plan, will involve wildlife, fisheries, recreation, and human habitation; Forestry Canada will have to respond to and influence policies in these areas.

Impact of Changing Crops on Forestry

In the boreal region, growth in the natural forest is slow, up to 150 years being required for trees to reach sawlog size. We know that intensively managed forests mature faster under present conditions. Increased temperatures and carbon dioxide concentrations will result in even faster growth. Wood quality will likely change and commercial uses of wood fiber will have to emphasize

factors other than size, for example, use for pulpwood, energy, or composites. In many regions the wood supplies may be located farther from existing mills and location of new mills may reflect the changed forest boundaries.

Shifts in the fiber resource are occurring now in response to resource depletion. Since we will no longer have a state of equilibrium for climate, there will be no state of equilibrium in the forest resource. We will see the fiber utilization industry shifting, much as it does today, but perhaps exacerbated by increased salvage logging.

The economic impact in different geographic areas will vary considerably. For example, the southern boreal zone of the Prairie provinces and parts of the British Columbia interior may become less suitable for commercial forestry due to drought conditions. There may well be places where current harvesting practices need to be changed to reflect emerging conditions and places where reforestation efforts should be abandoned. In other areas the tree species used for the next crop may be different from the traditional species, causing readjustment in the wood-using industries. Over the longer term, in the northern boreal and subarctic regions, forest industries will become increasingly prominent, necessitating a realignment of the present economic base and changes in the transport and communications infrastructure.

Summary: Major shifts in the fiber resource will occur in the forest regions — shifts that can be predicted and for which adjustments can be made and for which technological improvements can be developed to ameliorate changes. These effects of climate change will have widespread economic implications and will require intensive forest management to alleviate the severity of the impacts.

Changing Forestry Values in a Changing Sociological Setting

As climate becomes warmer in the north, lands presently marginal for agriculture may become more productive. They may have to be used in place of stressed agricultural land in the Canadian Prairies. This could create land use conflicts, with agriculture encroaching on existing forest lands. However, except for the soils in the "clay belt" most boreal soils are not suitable for agriculture and neither agriculture nor forestry can become established on many of the rocky shallow soils of the Canadian Shield even under conditions of "improved" climate. Some resource-based industries may be able to locate farther north as the climate warms. We can expect population increases to exert more pressure on forest lands and serious land use conflicts already existing in the wildland/urban interface may increase by continued urbanization.

Certain economic decisions are already being made within the context of climate change. Decisions are taking into account the increased risks, for example, the siting of hydroelectric power stations based on 100-year projections of water supply; location of grain elevators in relation to predicted grain growing areas; development of recreational areas by organizations such as Ducks Unlimited which depend on their sloughs and water holes having an adequate supply of water. These decisions are being made now and are based not on hard scientific evidence but on projections based on models and best guesses. Forestry Canada is not directly involved in these activities but we anticipate that soon our "customers" will want to know our opinions in terms of future wood supply, forest management practices, establishment of ecological reserves, etc. This will require both a policy and a science input. How our economic system must react to climate change will depend on climatic predictions in which there will be an element of doubt. Managers cannot nor will not wait for final answers. Policy makers will require the best possible information for their decisions regardless of the level of confidence in the scientific information. Therefore, Forestry Canada must be in the position to provide the best information available to policy makers.

Summary: Severe land use conflicts can be anticipated as a result of changes in agricultural and industrial development. Forestry Canada will be asked to assist in developing projections for industrial clients and for governments, and this assistance will not always be delivered with the backup of a high level of confidence in the scientific information.

International Implications of the Changing Climate

Global climate change will also affect Canada's relationship with other producers in the international forest products market. The boreal forests can expand to some extent in Europe and in Western Canada, but much more so in Siberia (USSR) and possibly China. This could cause major realignments in world markets. Canada's vast northland, made more attractive by the milder climate, may also appear more attractive for settlement by people displaced by changed conditions around the globe.

Summary: Significant changes in international trade patterns and in socioeconomic considerations generally will require policy action by the Canadian government.

Forestry Research Needs

All aspects of forestry will likely be affected by climate change at a rate and magnitude for which we have no preparation or experience. Research must provide the background information for decision makers to help them cope with climate change. Forest science must convey the concerns of the forest sector to other branches of science and to policy makers so that policies and strategies can be designed for sustainable forest–ecosystem development. We must interpret the voluminous existing information and ensure that the appropriate information networks and databases are in place to make information accessible.

The following is an initial list of forestry science and technology problems and solutions relative to climate change. It is not implied that this research be done solely by Forestry Canada; other federal and provincial agencies, universities, and industry will also lead and/or contribute to the process. Close cooperation to maximize available S & T resources will be essential.

Forecasting Climate

As regional climatic predictions improve, the ecological implications of these changes must be understood. There will be two phases to these studies:

(a) Relating prehistoric climatic changes to forest ecosystems — Proxy climatic information indicates that there were fluctuations in the climate in the postglacial Holocene epoch, such as the warm period 2500–7300 years ago. The Little Ice Age lasted from about 1450 to 1850 and the global climate averaged 2–3° colder than now. The vegetation response to the changing climate during these periods indicates the rate of plant migrations under "normal" conditions. Fluctuations in the arctic or alpine tree line indicate the sensitivity of trees to climatic extremes. Studies of tree ring width indicate the rate of tree growth under various climatic conditions. The presence of charcoal in peat or lake deposits is correlated with past climate. The rate of peat bog formation is correlated with temperature and moisture. These studies use the past to provide clues to the future. Forestry Canada is well placed to take a strong partnership role in this research.

(b) Indicators of climate change — Research is needed to provide predictors for pest responses, based on an understanding of the effects on pest biology of elevated temperatures under different day-length periods. Seasonal adaptations of pests (for example, feeding behavior, host colonizing potential) and pest population dynamics under unstable climatic conditions also must be determined. For example, the distribution of mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) and the balsam woolly aphid (*Adelges piceae*) is closely related to temperature. If there are changes in temperature as a result of climate change, how will these insects react? Can we use this information to learn how fast the change is occurring?

Forecasting the Response of Forests

Need for Process-Oriented Research

Forestry Canada must conduct process-oriented ecophysiological research on forest ecosystems to determine the tolerances of different species to soil moisture conditions, nutrient cycling, climatic extremes and thresholds, and disturbances during different life stages of individual species and plant communities. Forecasting depends on building and exercising process-based simulation models with which to develop scenarios. The models that we now use will help identify gaps in our knowledge base and will, in turn, require additional data for their modification. An example of this is the need to know how forest soils will respond to varying climates and how rates of humification and mineralization will be affected.

Relating Instrumented Climatic Changes to Forest Ecosystems

Instrumented data within the past 100 years show both long-term trends and short-term fluctuations. There is a need to increase the integration of climate data and forest growth data so that these can be used to establish the importance and reliability of such climatically determined indicators as tree growth rates, insect or disease outbreaks, and frequency of fires and windstorms. Forestry Canada is capable of doing this in cooperation with other agencies.

Integrating Data into Predictive Models

The information gained from the paleoclimatic and historical studies can be used to build empirical models designed to predict changes in growth rates, risk of fire, forest pest outbreaks, etc. There is a need to update and improve the quality of Canada's growth and yield information, including the synthesis of pollution/climate and growth and yield data, to evaluate the effects of environmental factors on the forest. An evaluation of the expected changes can be achieved through consensus building, obtained by wide-ranging discussions with experienced scientists. Forestry Canada will use these models for generating scenarios of forest declines and will contribute and share data with other agencies.

Monitoring the Change

Monitoring must be conducted to ascertain the direction and magnitude of forest responses to changes in climate. To do this we need measurements of a series of climate and forest variables for a long period. Fortunately, most of these data are now available and we need only to make full use of them. At the same time, there is a need for increased levels of monitoring in forested areas. Observations of such key factors as frequency and severity of fires, insect outbreaks, diseases, and abiotic damage need to be related to climate. Changes occurring in the forest ecosystems, as manifested in the number and extent of forest fires, success or failure of regeneration, and changes in species range and volume, should be better documented by Forestry Canada to check the predicted changes and allow appropriate changes to be made in the adaptive strategy. Forestry Canada already has a series of monitoring plots, the Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS) operated by the Forest Insect and Disease Survey (FIDS). The plots indicate change in the forest and they also provide a basis for a system for monitoring climate change. There are many opportunities for Forestry Canada to cooperate in the monitoring process with other government departments, industry, universities, and the provinces.

Mitigating the Effects of Climate Change

The potential for serious impacts on forestry can be reduced by shortening the exposure time of forest stands to changing climatic conditions, by broadening the option of species and seedlots

available for reforestation, and by increasing forest protection capabilities. Much of the research infrastructure is already in place, but new science will be needed in several areas, particularly in tree physiology. Research into forest management systems will enable managers to reduce the rotation period, thus lessening the effects of major climate changes during the life of a single crop.

Greater emphasis must be placed on safeguarding the gene resource pool. This can be accomplished by identification and conservation of suitable species, provenances, and varieties. One solution is to set aside germplasm reserves in all the major climatic regions and especially where major regions meet. We already know a great deal about the genotype–environment interactions of the major forest species from the results of provenance trials and introductions of exotics. We need to know more about genetic diversity in our native species in terms of genotypes able to survive climatic change. We can breed selectively for new characteristics such as drought resistance and other physiological parameters. We can also direct our genetics research to take advantage of the positive forestry aspects of climate change.

Fire management agencies in Canada currently walk a very fine line between manageable and nonmanageable forest fire situations and any warming trend will exacerbate this problem dramatically. Forest fire severity is closely tied to short-term fluctuations in weather in specific locations. Although prediction of the short-term weather variables critical to fire occurrence and behavior is presently impossible, we should look at the likelihood of predicting some of the longer-term parameters that influence the general severity of fire years. This would include upper level circulation patterns, frequency of significant storm events, and extended drought periods. This information can be predicted more confidently and will provide fire managers with vital information on which to base fire management strategies. The Canadian Forest Fire Danger Rating System is now in use and will need continued support because climate change will continually change the ground rules.

The potential for forest losses from insects and diseases can be reduced through increased research and technology efforts, improved pest monitoring, and more effective integrated control techniques.

The Carbon Balance — A Forestry Solution

Carbon dioxide is the principal factor in climate change and will remain so for the foreseeable future. Its increasing concentration is attributed mainly to fossil fuel emissions and partly to land use trends, especially deforestation. The concluding statement of the World Conference on the Changing Atmosphere, June 1988, called for a 20% cutback of CO_2 emissions by 2005. The forestry community can contribute significantly to this objective in the following areas:

- increased use of forest biomass for energy to reduce the consumption of fossil fuels;
- increased emphasis on long-term preservation of the carbon sink in the form of large stores of biomass carbon in old growth forests, in tropical forests, in forest soils, in permafrost, and in peatlands;
- maintenance of sequestered carbon by the replacement of high energy-input products with wood products that will lock up carbon;
- increased emphasis on the restoration of carbon reservoirs through reforestation and the creation of healthy rapidly growing plantation forests.

These areas present opportunities for the forestry sector to contribute to the goal of sustainable development in the face of rapid and inevitable environmental change.

Forestry Canada's Strategic Initiatives and Priorities in Climate Change Research

The Approach

Forestry Canada must respond to changes in the environment that affect the entire forestry community, even though the timing and magnitude of these changes are uncertain. Once the effects are clearly evident, there will already have been substantial and irreversible changes in forest ecosystems. A scientific program to respond to climate change issues must, therefore, be developed now.

The level of expertise and activity in Forestry Canada is already sufficient to provide some guidance. During the next few years, Forestry Canada must be prepared to offer "best estimates" of forest responses to widely accepted scenarios of climate change and to suggest appropriate adaptive and mitigative measures, at the same time establishing a more definitive program of research into the specific effects of climate change. Forestry Canada will therefore immediately implement the following program:

1. Monitor past changes and predict the future, including analysis of fire patterns, dendrochronological studies, past climate events and their effects on forest decline, and maintenance of ARNEWS/FIDS programs.

2. Conduct process-oriented research on the growth and development of forest ecosystems, including research in forest succession, variation patterns in forest trees, ecophysiology of tree species, and the development of insect and disease pests under different climate change scenarios.

3. Integrate this information into usable decision-making tools through the development of Forest Management Systems.

4. Transfer information and technology to the forest sector to advise it of the nature, extent, and possible solutions to the problem.

5. Participate with the national and international scientific community to coordinate and enhance work in all areas listed above.

To achieve these goals we must build on the areas of strength in the organization. We have few researchers in the field of climate change itself but there is a sufficient base of expertise to coordinate and direct research through the postdoctoral fellows route or by contract. This route should be pursued to achieve the maximum benefit for our program. As far as possible, existing A-base funds in related fields should be used to support climate change research objectives. In addition, resources from the Forestry Canada/NSERC Research Partnership Support Program, which identifies **Atmospheric Change** as one of our strategic S & T programs, should be used wherever possible to support climate change research.

The Priorities

Each of the five "Forestry Research Needs" identified in the previous section of this plan will be addressed during 1990–1995. This will be done through a modification or use of results of research projects currently ongoing in the department, together with new work more specifically directed to climate change objectives when resources permit. Major concentrations of effort will be as follows:

1. Forecasting Climate Effects — Forest management planning requires projections of likely future climates and Forestry Canada will address this partly by determining the relationship between prehistoric climates and forest ecosystems. The data will be integrated into predictive models of future forests. The priorities will be in palynological analysis and the dendroclimatological analysis of tree growth. We will also develop a forest succession simulation model predicting the effects of global climate change.

2. Forecasting the Response of Forests — Forest managers need projections of the response of forests to climate change to develop recommendations to cope with the change. These responses include tree physiology; factors controlling reforestation; variation in forest trees; and effects of pollutants, fire, insects, and diseases, among others.

Tree Physiology — We will conduct research on tree ecophysiology, water relations, photosynthesis, dormancy, and nutrition.

Factors Controlling Reforestation — Forestry Canada has a wealth of information on reforestation methods and the factors controlling its success. We will, therefore, integrate these data into forest management systems to enable the forest manager to have the best available information to maintain forest productivity.

Variation in Forest Trees — Trees in the future will grow under different environmental conditions. Forestry Canada has the best data set in Canada on growth of trees of different origins under prevailing climatic conditions. This resource will be exploited through the analysis of provenance data on a wide variety of forest tree species. The data will provide an analog of future growth patterns based on past data of the effects of climate on a body of forest tree germplasm grown and measured for 20–40 years under a known climate. These data are already available in Forestry Canada but require synthesis and evaluation and should receive high priority in implementation.

Effects of Pollutants — Forests of the future will be subjected to current and possibly greater levels of pollutants. Forestry Canada will undertake, support, and cooperate in research on the effects of pollutants on vegetation to provide the background for policies to adapt and ameliorate the effects of these pollutants.

Damage to Forests — Development of fire behavior prediction systems and effects of the change in climate on incidence of fire are critical. Forestry Canada will continuously update the Canadian Forest Fire Danger Rating System to ensure managers have the tools necessary for fire management. Forestry Canada will continue research on the dynamics of insects and diseases and attempt to relate changes in habitat and population levels to changes in climate. The relationship of damage to changes in climate is a most promising research opportunity and should receive high priority.

Forest Decline — Declines in forest species have been related to unusual weather events complicated by possible long-term climate changes. These declines are often extensive and have far-reaching biological and economic consequences. Therefore, Forestry Canada will expand research on forest declines.

3. Monitoring the Change — Forestry Canada will maintain current detection systems which include ARNEWS; detection techniques (such as MEIS, Multi-spectral Electro-optical Imaging Scanner); and monitoring of fire, insect, and disease biological indicators. To make use of existing monitoring systems in prediction of climate, the network must be expanded to incorporate projected changes in climate. These include the need for more intensive monitoring in the areas of greatest projected change.

4. Mitigating the Effects of Climate Change — Forestry Canada will develop forest management systems based on existing research information and develop new information as needs become apparent. The integration of the information obtained over the last 50–80 years is essential to enable planners and policy makers to function under a new and changing set of circumstances.

5. The Carbon Balance: Is Forestry the Problem or the Solution? — Forestry Canada will support and continue to conduct research into biomass production, carbon budgets of forests, and

potential productivity of forest species. This will be done partly through our own research program but the greatest effort will be via interaction with other agencies and programs such as IEA, ENFOR, and contracting projects to other participants.

Implementation

These programs will be managed through Forestry Canada's regional centers and national institutes, and some of those establishments will become the focal points or lead centers for certain components of the climate change program as implementation of the program gains momentum during the next 2 years. Overall coordination of the program will be provided through the Science Directorate Coordinator for climate change, the Forestry Canada Working Group on Climate Change, and those special S & T programs that may constitute funding sources for some climate change research activities.

Appendix. Current Forestry Canada Research Relating to Climate Change

Forecasting Climate

How will the climate change in the future and what information does Forestry Canada have that can be used in these predictions? There are two approaches to forecasting:

(a) Relating prehistoric climatic changes to forest ecosystems and integrating the data into predictive models — At PNFI, research is under way on the meteorological and climatological aspects of climate change and atmospheric pollution and the decline of white spruce plantations is being investigated using a dendroclimatological approach.

(b) Relating instrumented climatic changes to forest ecosystems and integrating the data into predictive models — At Northwest Region, paleoecological studies are assessing the effects of the mid-Holocene warm period on wetland dynamics and paleoclimatic parameters for the period are being derived. The ecoclimatic regions of Canada are being determined by succession and the ecological basis for analog regions supplied. They are using ecoclimatic provinces to assess the possible ecoclimates under a double CO_2 accumulation and to assess the implications for the boreal forest in the western interior.

Forecasting the Response of Forests

How will the forests respond to the anticipated change? What are the basic parameters that drive that response? To answer these questions, we must have process-oriented research that also shows the indicators of climate change. These processes include tree physiology; factors controlling reforestation; variation in forest trees; and effects of pollutants, fire, insects, and diseases. The integration of these data to explain forest decline is also a major requirement.

Tree Physiology

Ecophysiological studies on water relations, photosynthesis, and nutrition are under way in Newfoundland. There are more detailed studies in Quebec of the effects of frost on seedlings. These are complemented by studies on the influence of photoperiod on hardening-off, mineral nutrition, and seedling stress. The field studies needed for the process-oriented research, including survival and growth, state of evaporation in container seedlings, water relations in the field, levels of water stress, and the validity of moisture testing methods, are under way in Quebec Region.

In the Maritimes Region, the effects of increased CO_2 levels in greenhouses are being studied. These data will be necessary for the construction of process-based models.

Factors Controlling Reforestation

Reforestation studies are being conducted at most Forestry Canada establishments, including stand establishment, vegetation management, soil nutrition processes (Nfld.), soil microbials, litter deposition, nutrient turnover rates (Maritimes), and the effects of climate change on forest floor dynamics (PNFI).

Ecophysiology research on the nature of hardwood/softwood competition, weed control strategies, and the problem of softwood establishment without the use of chemical herbicides is ongoing in Ontario Region.

Studies on the environmental impact of forestry practices and studies on the interaction with other forest users are being done in Pacific and Yukon Region.

In Ontario and Newfoundland regions, the effects of peatland drainage and the anticipated effects of climate change are being studied.

Variation in Forest Trees

Long-term studies on species–provenance interactions with the environment are continuing in Newfoundland, the Maritimes, Quebec, and Northwest regions, and at PNFI. Breeding black spruce from different populations, and studying adaptive traits and their response to climatic change are being done at PNFI.

Provenance trials were initially established to examine the patterns of variation within commercially valuable species so that the best adapted strains could be used in reforestation programs. A constant pattern of climate was assumed, an assumption no longer valid. Provenance trials represent detailed knowledge of germplasm unaffected by this change 20–40 years ago and the growth of these genotypes has been monitored for long periods under known climatic conditions. This represents a unique opportunity for Forestry Canada to study the effects of changing climate on forest trees.

Effects of Pollutants

At the Maritimes Region, studies of simulated acid rain effects on cuticles, reproduction processes, LRTAP interactions between atmosphere and forest trees, and the plant–atmosphere interactions are under way. Studies are continuing on the relationship between acid fog and deterioration in birch stands and on a cooperative study with the USFS on red spruce decline in the Northeastern United States and Canada. Effects of ozone and temperature changes on physiological and morphological variables in tree crowns of sugar maple are also being studied.

Damage to Forests

Research attempts are under way to develop fire behavior production systems at Northwest Region. At PNFI and Ontario Region, studies are under way on the impact of a doubling of atmospheric carbon dioxide on the occurrence of forest fires.

Research on pathogens related to early establishment and tending of the current and future forest are under way at Ontario Region.

Plantation pest management, integrated protection systems for insect pests of coniferous plantations, biological control of insect pests and regeneration pests are being studied at Pacific and Yukon. The environmental impact of forestry pesticides on forest ecosystems is being studied at FPMI.

Forest Decline

Forestry Canada's forest decline work is concentrated in Quebec and includes hardwood declines, effects of climatic stress on sugar maple and nutrient cycling in relation to pollutants, evaluation of stresses and their effects separately on the forest, climate change, effect of climate change on forest health and productivity, and the impact of climate change on boreal forests. They are cooperating with IIASA's (International Institute for Applied System Analysis) Study on the Impact of Climate Change on Northern Forests and Their Boundaries.

At Northwest Region, they are studying the projected impacts of climate change on forest ecosystems and they are exploring techniques for forestry impact assessment of climatic changes.

At Pacific and Yukon Region, they are developing biologically based mechanistic models for Douglas-fir ecosystems and methods of assessing effects of silvicultural treatments on growth and yield to improve forest management practices.

Monitoring the Change

Some of the issues discussed in "Forecasting the Response of Forests" also relate to monitoring climate change. These include the development of provenance work to assess the different genotypes under changing conditions of temperature and moisture, changes in peatland vegetation and water relations as the climate warms, and determining the effect of climate change on forest health and productivity by the impact of climate change on boreal forest regions. At Ontario Region, the

biogeochemistry in the Turkey Lakes Watershed (TLW) monitors nutrient flow and processes involved with nutrient availability.

The most extensive Forestry Canada activities in the field of monitoring are the ARNEWS and FIDS systems, which detect and monitor change in the health of the forest and damage from insects and diseases. These functions are done at most establishments. Research on insect population dynamics and response of insect populations to weather patterns are included in this category. The distribution of insect species is often limited by temperature and weather patterns and so changes here may presage changes in climate.

New techniques developed at PNFI may be extremely valuable in acquiring the data for monitoring change, for example, development of the Multi-spectral Electro-optical Imaging Scanner (MEIS) to monitor forest vegetation in relation to climate change and atmospheric pollution.

Mitigating the Effects of Climate Change

Mitigating the effects of climate change will involve using the information derived from the Forestry Canada research program. Research on tree physiology will aid in the selection of better adapted plants for reforestation, ecosystem studies will aid in the use of better techniques of site preparation, provenance trials will result in genotypes adapted to new and changing conditions, and monitoring will help in developing a systems approach to management of the damage expected from higher temperatures and stressed forests. In Newfoundland and Northwest regions, research shows that harvesting practices can be altered to influence succession following disturbance.

At PNFI, breeding black spruce from different populations and studying adaptive traits has identified genotypes of black spruce particularly tolerant to drought. In Newfoundland Region, a small number of Sitka spruce genotypes proved adaptable to climatic conditions quite unlike their native habitat. These "straws in the wind" show that we probably have very little idea of the range of variation in forest trees and consequently a great opportunity to develop new genotypes for new climate conditions.

Research in Forest Management Systems and improvements in establishment and tending are being developed at several establishments. The integration of data obtained during the last 50–80 years is essential to enable planners and policy makers to manage forests in the future.

The Carbon Balance: Is Forestry the Problem or the Solution?

Forest management practices are thought to make a small contribution to the overall carbon budget; at the same time, forest management may be a part of the solution. As a national research organization, Forestry Canada is developing information to test both these hypotheses.

Under the ENFOR program, Forestry Canada is funding a study to determine the carbon budget for Canada's forests. The ENFOR program has already resulted in the publication of a biomass inventory of Canada that enables managers and planners to address the problem from the research perspective, where more information is needed, and to develop policies to use biomass in energy production. At PNFI biomass evaluation is being done on jack pine and red pine to increase our understanding of their ecology.

Forestry Canada is a major player in the International Energy Agency Bioenergy Agreement, which provides information on the potential productivity of *Salix*, *Populus*, and *Alnus* as part of a broader cooperation on the production and use of biomass for energy; other species will also be studied. This information is useful from a scientific viewpoint but it also shows how large-scale reforestation efforts such as those proposed for carbon sinks could be implemented.

Forêts Canada:

Plan stratégique en matière de recherche sur le changement climatique

1990–1995

Forêts Canada Forestry Canada

Canada

Forêts Canada:

Plan stratégique en matière de recherche sur le changement climatique

1990–1995

Novembre 1990

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
Numéro de catalogue Fo42-156/1991
ISBN 0-662-58217-9

Il est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès de:

Forêts Canada
Direction générale des sciences
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

Des copies ou microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

Table des matières

Introduction 1

Considérations stratégiques 2

Le changement climatique et l'industrie forestière 3

- Conséquences du changement climatique sur la forêt 3
- Incidence des forêts sur le changement climatique 4
- Adaptation au changement climatique 4
- Répercussions d'une modification des peuplements sur la foresterie 5
- Évolution des valeurs forestières avec le contexte sociologique 6
- Implications internationales du changement climatique 7

Besoins de recherche en foresterie 7

- Prévision du climat 7
- Prévision de la réaction des forêts 8
- Surveillance du changement 9
- Atténuation des conséquences du changement climatique 9
- Le bilan carbonique — solution offerte par la foresterie 10

Projets et priorités de Forêts Canada en matière de recherche sur le changement climatique 10

- Approche 10
- Priorités 11
- Mise en œuvre 13

Annexe. Les recherches actuelles de Forêts Canada et le changement climatique 14

Introduction

De nombreux indices laissent craindre la possibilité d'un changement climatique mondial au cours des prochaines décennies. Un tel changement pourrait réduire la productivité des forêts canadiennes consécutivement à une élévation de la température ambiante et à une diminution de la teneur en eau du sol. Parallèlement, la hausse de la température et une concentration accrue de dioxyde de carbone pourraient déboucher sur une accélération de la croissance, du moins dans certaines parties du pays. L'intérêt de la population pour le problème posé par le changement climatique a été aiguisé l'an dernier par une plus grande prise de conscience de la présence de changements mesurables dans la chimie de l'atmosphère.

Les modèles du climat planétaire, qui reposent sur les propriétés physiques et chimiques de l'atmosphère, suggèrent un réchauffement général de la température ambiante et de la température de l'eau à la surface de l'océan. Certaines données confirment déjà le phénomène, ce qui rend ces modèles encore plus crédibles. Pratiquement dans tous les pays, les dirigeants gouvernementaux estiment que les points de vue scientifiques sur lesquels reposent les modèles en question font autorité en la matière. C'est dans ce contexte que le Canada a récemment parrainé un colloque international ayant pour thème «L'atmosphère en évolution : implications pour la sécurité du globe». À cette occasion, les grandes figures des sciences, du droit et de l'environnement en sont venues à la conclusion qu'il faut rapidement élaborer et mettre en œuvre des politiques en vue de protéger l'atmosphère de la planète. Le rôle prépondérant joué par les premiers ministres du Canada et de la Norvège au colloque a confirmé toute l'attention que le problème retient aux plus hauts paliers de la sphère politique.

Le réchauffement prévu n'est pas seulement le résultat naturel de la fin la dernière période glaciaire et de la chaleur libérée par les îlots thermiques que sont les grands centres urbains. Il est dû aux changements observés et détectables subis par l'atmosphère à la suite des activités humaines. On s'attend notamment à ce que la température et l'importance des précipitations varient d'une région et d'une saison à l'autre. Le pronostic général donne un réchauffement appréciable et soutenu, quoique plus prononcé aux hautes latitudes pour les climats de type continental. Ainsi, le réchauffement devrait être plus important dans les provinces au nord et à l'ouest de l'Ontario, avec des modifications moins sensibles ailleurs.

L'écosystème forestier canadien en danger. L'écosystème forestier naît de conditions locales particulières relatives au sol et au climat, et subit l'influence des régimes thermique et hygrométrique. Si la température du globe augmente de 1,5 à 4,5° C en moyenne, on pourrait enregistrer une hausse beaucoup plus élevée, allant peut-être jusqu'à dix degrés ou davantage, dans certaines parties de la forêt boréale. Ceci aurait d'énormes conséquences pour le secteur forestier. En effet, la température plus chaude prolongera la période végétative, adoucira les hivers et repoussera les limites des zones de croissance vers le nord. Ainsi, le «climat» de la forêt mixte du sud pourrait se transformer de telle sorte que les terres seraient colonisées par des feuillus qu'on trouve normalement plus au sud. L'écosystème boréal deviendrait un milieu propice à la croissance de forêts mixtes. Aux endroits où l'eau abonde grandiront les forêts, mais là où elle est rare, se créeront plutôt des prairies. La toundra nordique envahira les régions boréales, ce qui pourrait donner naissance à une nouvelle forêt boréale, si le sol s'y prête. Dans les Maritimes et au Québec, les forêts pourraient s'étendre et ainsi rendre les terres forestières plus productives que jamais.

La période de transition qui précédera l'installation d'un nouveau climat et les adaptations qu'elle suppose présentent toutefois plus de risques que d'avantages. En effet, cette période sera beaucoup plus brève que celles auxquelles les aménagistes forestiers sont habitués, à savoir quelques décennies au lieu de plusieurs siècles. Les forêts en exploitation pourraient donc s'avérer beaucoup plus difficiles à remplacer et les incendies de forêt pourraient ouvrir la porte à des stades de succession différents, peu importe les efforts de gestion forestière. Les forêts subiront un stress de plus en plus intense à mesure que s'aggravera la discordance entre l'environnement et la végétation. On pourrait assister à l'apparition de nouveaux ravageurs ou maladies, surtout lorsque la distribution des parasites est limitée par la température. Le climat pourrait également altérer la dynamique de population entre prédateurs et parasites. L'exploitation des forêts en subira le

contrecoup. Ainsi, des hivers plus cléments pourraient abréger la coupe en hiver. De plus, une couche nivale peu épaisse permettrait au sol de geler plus profondément, ce qui risquerait d'abîmer les racines des arbres.

La position du Canada sur le marché mondial se modifiera en fonction des répercussions du changement climatique sur l'économie nationale et l'économie des autres pays. À l'échelle du globe, les effets les plus notables se feront sentir au niveau de la forêt mixte et de la forêt boréale, plus particulièrement dans le centre et le nord du Canada, dans les pays scandinaves et en Union Soviétique. Forêts Canada cumule une solide expertise dans l'aménagement des forêts de type nordique, expertise qui jouit d'une réputation internationale. Le Canada devrait donc jouer un rôle prépondérant à cet égard dans le monde, en conjonction avec le petit nombre de pays où se retrouve un environnement analogue.

Il est capital que le gouvernement fédéral participe à l'évaluation des implications d'un changement climatique et tienne la population au courant de la situation. En tant que principal organisme fédéral intéressé à la recherche et au développement forestiers, Forêts Canada devrait prendre les devants et soumettre au gouvernement une stratégie générale et efficace qui lui permettra d'intervenir en vue de la résolution du problème sans doute le plus épineux auquel s'est jamais heurté le secteur forestier. Aucun aspect de la foresterie n'échappera aux perturbations de l'environnement que l'on prévoit. Les arbres qu'on plante aujourd'hui pourraient bien se retrouver dans un milieu très différent quand ils parviendront à maturité. Le secteur forestier doit être conscient de ces changements potentiels, comme de la nécessité d'adapter de façon dynamique les pratiques forestières, en dépit des lacunes évidentes dans les connaissances scientifiques. Les aménagistes doivent prendre des décisions et procéder à des ajustements malgré des informations très limitées. Quoique l'industrie s'inquiète de la difficulté de prouver les hypothèses de départ, ses membres sont sans doute plus enclins que les scientifiques à accepter le scénario «le plus probable». Le gouvernement fédéral réussira sans doute le mieux à répondre à ses obligations en adoptant une stratégie qui tirera parti des points forts habituels et bien connus de Forêts Canada sur le plan de la recherche ainsi que de l'influence politique et fiscale que le Ministère exerce sur l'industrie forestière.

Forêts Canada contribuera également de façon significative aux efforts généraux déployés par le gouvernement pour faciliter l'adaptation au changement climatique sur les plans régional, national et international. D'autres couches de la société seront touchées et, bien que leur responsabilité n'incombe pas à Forêts Canada, ce ministère se trouvera indirectement concerné dès que le gouvernement fédéral et d'autres autorités publiques examineront la situation. Les risques pourraient notamment s'étendre aux pêches, à la faune et aux loisirs, avec les conséquences aux multiples ramifications socio-économiques auxquelles on peut s'attendre. Les autochtones qui habitent dans les régions les plus affectées verront leur habitat changer durant leur vie et la génération qui leur succédera pourrait bien se retrouver dans un milieu qui ne cadre absolument plus avec la culture ancestrale.

Les responsabilités et les tâches de Forêts Canada gravitent autour du concept du développement durable, tel que défini dans la Loi sur le ministère des Forêts. La façon dont le Ministère s'attaque au problème du changement climatique doit donc s'appuyer sur le principe d'un développement durable. Sachant que le changement climatique est un problème mondial, Forêts Canada agira en conséquence et mettra l'accent sur la coopération scientifique, sur les interactions des concurrents et des partenaires commerciaux ainsi que sur l'élaboration et la mise en œuvre d'une stratégie universelle à l'adaptation au changement climatique et à l'atténuation des effets qui en résultent.

Considérations stratégiques

On doit bien comprendre que l'écosystème forestier, et plus particulièrement l'équilibre forêt/atmosphère/sol, est sur le point de connaître des changements fondamentaux. Ces changements varieront selon le temps, l'endroit, de même que la gravité. On peut donc s'attendre à ce qu'ils aient

des effets à la fois bénéfiques et néfastes. Les politiques et les stratégies élaborées par Forêts Canada doivent tenir compte de ces effets, de même que de la diversité des intérêts au sein de la collectivité forestière. La stratégie de Forêts Canada devra prouver que le Ministère est capable de réunir une somme de connaissances suffisante pour nous aider à comprendre les conséquences du stress actuel et à venir créé par la modification du climat sur l'écosystème forestier.

Même s'il est impossible de prévoir l'ampleur du changement climatique et le moment où celui-ci se produira, on peut d'ores et déjà prendre des mesures pour atténuer les effets néfastes envisagés et élaborer des politiques qui faciliteront l'adaptation à des conditions nouvelles et changeantes. De fait, si elles étaient adoptées immédiatement, certaines mesures et politiques ne pourraient être que bénéfiques, advenant une modification même minime du climat. Tous les programmes de Forêts Canada feront donc l'objet d'un examen et seront développés en fonction des priorités établies dans la présente stratégie et celles qui la suivront. À son tour, la recherche sur le changement climatique devra s'adapter aux besoins de ces autres programmes. Forêts Canada gardera également des liens étroits avec les autres organismes concernés comme le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada.

Le changement climatique et l'industrie forestière

Cinq aspects majeurs déteindront sur la prise de décisions en matière de politiques. Ces aspects soulignent les liens communs et les effets synergiques qui existent entre le changement graduel du climat et l'écosystème forestier. Des ajustements devront être effectués en fonction des meilleures connaissances existantes et des résultats obtenus au moyen du modèle fondé sur les processus propres à cet écosystème.

Conséquences du changement climatique sur la forêt

On pense que le climat pourrait évoluer trop rapidement pour que les végétaux parviennent à coloniser les nouveaux habitats avant la manifestation d'un nouveau changement. Les conditions météorologiques et l'état du sol déterminent dans une large mesure la composition régionale des forêts. Un réchauffement important créera sans doute des conditions qui permettront à la forêt boréale de s'étendre dans les Territoires du Nord-Ouest et le nord du Québec beaucoup plus loin que la limite existante, si les températures minimales d'hiver dépassent la moyenne actuelle. Les vastes tourbières du nord du Canada pourraient donner naissance à des forêts productives avec un abaissement de la nappe phréatique. Par la même occasion, les essences de feuillus tolérantes pourraient progresser dans la partie sud-est de la forêt boréale.

Les forêts devraient se développer plus rapidement grâce à une plus longue période végétative et à une concentration accrue de dioxyde de carbone. Ce dernier facteur pourrait également réduire le taux d'évapotranspiration des arbres, ce qui favoriserait une adaptation accélérée à un milieu plus aride. Toutefois, la croissance plus rapide des adventices non ligneuses et une moins grande quantité d'eau dans le sol pourraient empêcher la régénération naturelle des arbres après leur récolte. Les dicotylédones pourraient croître encore plus vite, ce qui déboucherait presque à coup sûr sur des problèmes d'envahissement dans les programmes de reboisement. Une telle situation pourrait exiger le recours à d'autres espèces ou provenances, voire dans certains cas, l'abandon pur et simple des terres boisées. Un aménagement intensif, comprenant la manipulation génétique, pourrait mettre l'accent davantage sur le taux de croissance, au lieu d'une rotation plus brève, et atténuer l'impact négatif du changement climatique.

Si l'élévation de la température accélère la croissance des arbres, la diminution de la teneur en eau du sol pourrait avoir l'effet contraire. L'exploitation des forêts aux endroits qui enregistrent de faibles précipitations pourrait aggraver les conditions propices à la sécheresse et réduire encore plus

les précipitations. Les températures plus chaudes devraient augmenter la fréquence et l'intensité des périodes de sécheresse, de même que le nombre de feux allumés par la foudre. On doit donc prévoir des incendies plus nombreux et plus importants, d'autant plus que la quantité de combustible devrait augmenter à cause du temps plus sec et du taux de mortalité accru des arbres rongés par les insectes et la maladie. S'il faut s'attendre à un déplacement des limites à la suite du réchauffement du climat, les feux de forêt pourraient bien accélérer considérablement ce processus. En outre, les forêts pourraient être la proie du chablis, consécutivement à des phénomènes météorologiques paroxysmiques et imprévisibles.

Récapitulation: On s'attend à ce que les forêts du Canada soient fortement touchées par la modification de l'atmosphère. Ce phénomène aura sans doute des répercussions indirectes sur la productivité, le reboisement et l'exploitation, ainsi que sur les pertes attribuables aux incendies, aux ravageurs et aux conditions météorologiques extrêmes. La faune, les pêches, les loisirs et la vie des autochtones seront également perturbés, ce dont il faudra tenir compte dans les stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Incidence des forêts sur le changement climatique

L'écosystème forestier extrait le carbone de l'atmosphère pour le transformer en biomasse. Une partie de la biomasse sert au stockage à court terme du carbone (plantes annuelles, feuilles, etc.), mais la majeure partie de cet élément reste emprisonné très longtemps dans les tissus ligneux et le sol. Aux endroits mal drainés, la tourbe peut garder le carbone pour un temps indéterminé.

L'exploitation des forêts, les incendies et le drainage des tourbières interrompront ce processus. Une partie du carbone sera rapidement libéré par oxydation à la suite de ces différents événements. D'autres produits, comme le bois de construction, pourraient persister plusieurs décennies ou siècles avant de se désagréger.

On comprend mal le rôle des forêts et de l'exploitation des ressources forestières dans le cycle du carbone. Si l'on parvient à prouver que la forêt et les tourbières qui leur font pendant constituent un système de stockage efficace du carbone, une amélioration de cet écosystème pourrait atténuer le changement climatique envisagé. Ainsi, on pourrait élaborer des politiques qui favoriseront la croissance des plantes ligneuses par le reboisement immédiat des endroits exploités, de même que par le reboisement d'extension de régions auparavant dépourvues d'arbres. Une autre stratégie proactive consisterait à protéger les tourbières et à contribuer à leur développement.

Récapitulation: Il est possible que les forêts du Canada jouent un rôle dans la fixation du carbone atmosphérique dans la biomasse. Diverses solutions visant à accroître et à améliorer le stockage à long terme du carbone dans la biomasse des arbres et du sol pourrait atténuer les répercussions de la modification chimique de l'atmosphère.

Adaptation au changement climatique

Les plantes qui se sont adaptées au climat local devront modifier leur aire. Il est possible qu'on doive étendre l'écotype des espèces qui affectionnent les nouvelles conditions de croissance pour le reboisement.

Une approche consisterait à introduire de nouvelles espèces, mieux adaptées. La Suède, par exemple, a introduit des variétés exotiques de pin tordu venant de régions d'Amérique du Nord situées à la même latitude que la région d'origine de l'espèce, mais beaucoup plus froides que la Laponie. Au Canada, l'épinette de Sitka, qui pousse dans les régions tempérées de la côte de la Colombie-Britannique, a été transplantée dans la partie ouest de Terre-Neuve, où le climat est

beaucoup plus rigoureux. À cet endroit, les génotypes se sont comportés différemment. Un petit nombre d'arbres se sont adaptés au climat plus froid, ce qui a donné naissance à une nouvelle variété, en mesure de croître dans des conditions difficiles. Il est possible que certaines espèces boréales se comportent de la même façon dans la partie la plus australe de leur aire. Néanmoins, le changement de climat repoussera la limite des zones de récolte des semences, et une modification des espèces peut créer des risques à plus long terme. Pour l'instant, on ne peut recommander d'autres espèces que celles déjà utilisées, car un certain temps s'écoulera avant que le changement climatique commence à se manifester et modifie les conditions actuelles de croissance. Une autre façon de s'adapter à la modification du climat consisterait à passer à une foresterie à rotation rapide pour que les peuplements subissent moins longtemps l'influence des nouvelles conditions climatiques.

Comme les méthodes de lutte contre le feu sont bien développées au Canada, on pourrait compenser les feux plus nombreux et plus violents par des ressources supplémentaires. Les pertes les plus importantes devraient être enregistrées dans les forêts de résineux, durant la période de transition. Les feux augmenteront à leur tour les émissions de dioxyde de carbone, ce qui accélérera le réchauffement du globe.

Les taux d'exploitation sont à la hausse dans la forêt boréale et rien n'indique que le réchauffement du climat donnera lieu à un ralentissement des activités. On devra néanmoins intervenir par une gestion plus avisée qui identifiera de nouveaux débouchés pour le bois de seconde qualité qui subsistera dans les forêts. Il faut se demander de quelle manière cette ressource peut être la mieux utilisée. Le bois récolté pourrait- il être transformé en produits durables qui garantiront la fixation à long terme du carbone? Il faut mettre au point de nouvelles techniques de récolte et de régénération pour maintenir et augmenter la quantité d'eau dans le sol. Il faudra aussi formuler de nouvelles stratégies d'exploitation pour les terres humides plus fragiles. Ainsi, on devra examiner comment boiser les tourbières où la croissance des arbres était auparavant interdite, mais qui, sans cela, pourraient libérer une énorme quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère avec le pourrissement de la matière organique. Parmi les autres pratiques d'importance susceptibles d'améliorer le bilan carbonique, il faut mentionner la création de ceintures de brise-vent, le reboisement d'extension des terres agricoles abandonnées et une promotion dynamique de la foresterie urbaine.

Récapitulation: Étant donné la nature du problème, les stratégies d'adaptation devront porter sur tous les aspects de l'écosystème forestier, y compris l'exploitation, le reboisement, l'utilisation et la conservation. D'autres adaptations, qui débordent du cadre du plan présenté ici, toucheront la faune, les pêches, les loisirs et les habitations humaines. Forêts Canada devra réagir aux politiques adoptées dans ces secteurs et influer sur celles-ci.

Répercussions d'une modification des peuplements sur la foresterie

Les forêts naturelles croissent lentement dans le Nord, chaque arbre prenant jusqu'à 150 ans pour parvenir à une taille convenable au sciage. On sait que les forêts aménagées de façon intensive parviennent plus rapidement à maturité dans les conditions de croissance actuelles. L'élévation de la température et la hausse de la concentration de dioxyde de carbone accéléreront encore plus cette tendance. La qualité du bois changera vraisemblablement, aussi l'usage commercial des fibres ligneuses ne devrait-il pas reposer uniquement sur la taille des billes, mais mettre l'accent sur d'autres facteurs, par exemple l'utilité du bois pour la production de pâte, d'énergie ou de dérivés composites. Dans de nombreuses régions, il se peut que l'éloignement des stocks augmente et que l'emplacement des nouveaux établissements reflète la redéfinition des limites forestières.

L'appauvrissement des ressources entraîne déjà une transformation des réserves de fibres. La rupture de l'équilibre climatique sera suivie par un déséquilibre au niveau des ressources forestières. L'industrie qui utilise les fibres devra s'adapter, comme elle le fait déjà, mais la situation sera peut-être exacerbée par une coupe de récupération plus intensive.

Tout cela aura une incidence économique variable sur les régions. Ainsi, la partie sud de la zone boréale, dans les provinces des Prairies, et certaines parties de l'intérieur de la Colombie-Britannique pourraient moins bien se prêter à la foresterie commerciale consécutivement à une plus grande aridité. À différents endroits, les pratiques d'exploitation existantes devront peut-être être modifiées en fonction des nouvelles conditions, tandis qu'ailleurs il faudra abandonner le reboisement. Dans d'autres régions, les arbres replantés en prévision d'une nouvelle récolte pourraient bien être d'une espèce différente, ce qui obligera l'industrie du bois à effectuer un rajustement. À plus long terme, l'industrie forestière occupera une place de plus en plus importante dans les régions boréales et subarctiques, avec le réalignement de la base économique et l'adaptation des réseaux de transports et de communications que cela implique.

Récapitulation: Les régions forestières connaîtront d'importants changements quant aux réserves de fibres; ces changements pourront être prévus et on pourra procéder à divers ajustements ou à des améliorations d'ordre technologique qui faciliteront la transition. La modification du climat aura de vastes effets sur l'économie et une gestion intensive des forêts s'avérera nécessaire si l'on veut en atténuer le choc.

Évolution des valeurs forestières avec le contexte sociologique

Avec l'adoucissement du climat dans le Nord, il est possible que les terres qui ne présentent actuellement qu'un intérêt minime pour l'agriculture deviennent plus productives et qu'on en entreprenne l'exploitation au lieu de celles des Prairies canadiennes, presque épuisées. Il pourrait s'ensuivre des conflits, l'agriculture empiétant sur les terres traditionnellement consacrées à la foresterie. Toutefois, à l'exception de la «ceinture de terres argileuses», la majorité des sols de la zone boréale conviennent mal à l'agriculture. À l'instar de la foresterie, cette industrie ne parviendra pas à s'implanter sur les sols rocailleux, de peu d'épaisseur, si fréquents dans la région du Bouclier canadien, même avec une amélioration du climat. Quelques entreprises qui exploitent les ressources parviendront sans doute à étendre leurs activités dans le Nord grâce au réchauffement du climat. On peut aussi s'attendre à plus de pressions exercées par la population croissante sur les terres boisées ainsi qu'à une aggravation des conflits soulevés par l'urbanisation et auxquels on assiste déjà à l'interface des étendues sauvages et des terres urbaines.

Face au changement climatique, on a déjà pris certaines décisions sur le plan économique. Ces décisions tiennent compte des risques accrus : sélection du site des centrales hydro-électriques en fonction des approvisionnements en eau prévus pour les cent prochaines années; choix de l'emplacement des silos-élévateurs d'après les zones probables de culture des céréales; aménagement de zones récréatives par des organisations comme Canards illimités, où étangs et mares dépendent de l'existence d'un volume suffisant d'eau. Les décisions qui sont prises aujourd'hui ne reposent pas sur de véritables preuves scientifiques, mais plutôt sur des projections issues de modèles et les meilleures estimations possibles. Forêts Canada ne participe pas directement à ces activités, mais il est à prévoir que la «clientèle» du Ministère désirera bientôt obtenir le point de vue de ce dernier quant aux futures réserves de bois, aux pratiques de gestion forestière, à la création de réserves écologiques et le reste. Ceci nécessitera un apport à la fois sur le plan des politiques et sur celui des sciences. La manière dont l'économie réagira au changement climatique dépendra de prévisions sur le climat intégrant un élément de doute. Les gestionnaires ne pourront attendre une réponse définitive. Ceux qui élaborent les politiques auront besoin des meilleurs renseignements possibles pour fonder leurs décisions, peu importe le niveau de confiance dans les données scientifiques. Forêts Canada doit donc être en mesure de fournir la meilleure information existante aux décideurs.

Récapitulation: Les changements subis par l'agriculture et l'industrie devraient donner lieu à de graves conflits quant à l'utilisation des terres. Forêts Canada sera prié de fournir des projections à l'industrie et au gouvernement, et l'information qui servira à les établir ne reposera pas toujours sur des données scientifiques dans lesquelles on pourra avoir une confiance aveugle.

Implications internationales du changement climatique

Le changement du climat mondial affectera également les relations du Canada avec d'autres producteurs sur le marché international des produits du bois. La forêt boréale pourra s'étendre un peu en Europe et dans l'ouest du Canada, mais elle le fera nettement plus en Sibérie (URSS) et éventuellement en Chine. Ceci pourrait donner lieu à un réalignement notable du marché mondial. Grâce à l'adoucissement des températures, les immenses étendues du Nord canadien pourraient également attirer davantage tous ceux que les nouvelles conditions climatiques ont forcés à abandonner leur pays natal.

Récapitulation: D'importants changements au niveau du commerce international et divers paramètres socio-économiques obligeront le gouvernement canadien à introduire diverses politiques.

Besoins de recherche en foresterie

Il est probable que tous les aspects de la foresterie seront touchés par un changement climatique d'une rapidité et d'une ampleur pour lesquelles nous ne sommes nullement préparés et il n'existe aucun précédent. Les chercheurs devront prêter main-forte aux gestionnaires aux prises avec cette situation en leur fournissant des données de base. Les sciences forestières doivent apprendre aux scientifiques des autres disciplines et à tous ceux qui forgent des politiques les problèmes propres à ce secteur pour qu'on puisse mettre en place des politiques et des stratégies en vue d'un développement durable de l'écosystème. On devra insister sur l'interprétation de l'énorme somme de données existantes et créer les réseaux de communication et de bases de données qui faciliteront l'accès à l'information.

Suit une liste initiale des problèmes soulevés par le changement climatique et des solutions proposées dans le contexte des sciences et de technologie forestières. Cette liste ne signifie pas que la recherche devrait être le domaine exclusif de Forêts Canada; d'autres organismes fédéraux et provinciaux, les universités et les entreprises poursuivront leurs propres projets ou contribueront à l'effort général de recherche d'autant plus qu'une étroite collaboration s'avérera essentielle si l'on veut maximiser les ressources scientifiques et technologiques existantes.

Prévision du climat

Il est impérieux que l'on comprenne les conséquences du changement climatique pour l'écologie à mesure que s'amélioreront les prévisions météorologiques régionales. Les recherches à cet égard se dérouleront en deux étapes :

(a) Rapprochement des changements climatiques préhistoriques et des écosystèmes forestiers — Les données climatiques obtenues par approximation révèlent que le climat a changé durant la période qui a suivi la glaciation de l'Holocène. Le réchauffement survenu de 2 500 à 7 300 ans avant notre ère en est la preuve. Le petit âge glaciaire qui s'est manifesté entre les années 1 450 et 1 850 s'est caractérisé par une température mondiale de 2 ou 3 degrés plus froide que la température moyenne actuelle. La façon dont la végétation a réagi à ces modifications du climat nous donne une idée de la rapidité du déplacement des espèces végétales dans des conditions «normales». La fluctuation de la limite forestière arctique ou alpine nous montre la sensibilité des arbres aux extrêmes climatiques. La largeur des cernes révèle la rapidité à laquelle croît un arbre dans diverses conditions climatiques. Il existe une corrélation entre la présence de charbon dans la tourbe ou les dépôts lacustres et le climat des temps passés. La rapidité avec laquelle se forme une tourbière est également associée à la température et à la teneur en eau. Toutes ces études recourent au passé pour

soulever un pan de l'avenir. Forêts Canada est bien placé pour participer énergiquement à ce type de recherche.

(b) Indicateurs du changement climatique — Il faut entreprendre des recherches afin de prévoir la réaction des ravageurs, par exemple essayer de comprendre les conséquences d'une élévation de la température sur la biologie des insectes pour différentes photopériodes. Le cycle saisonnier des insectes (habitudes alimentaires, possibilité de coloniser un hôte) et la dynamique de population des ravageurs dans des conditions climatiques instables devront également être précisés. Ainsi, la distribution du dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*) et du puceron lanigère du sapin (*Adelges piceae*) est étroitement reliée à la température. Si celle-ci varie à la suite du changement climatique, quelle sera la réaction de ces insectes? Peut-on se servir de cette relation pour déterminer avec quelle rapidité le changement climatique se manifestera?

Prévision de la réaction des forêts

Nécessité de recherches axées sur les processus

Forêts Canada doit entreprendre des recherches sur les processus écophysiologiques des écosystèmes forestiers pour déterminer la tolérance des différentes espèces à l'humidité du sol, au cycle des éléments nutritifs, aux maximums et aux minimums climatiques ainsi qu'aux perturbations qui surviennent à divers stades de la vie des espèces et des peuplements. Les projections dépendent de l'existence de modèles de simulation basés sur les processus forestiers et de leur application à la construction de divers scénarios. Les modèles actuellement en usage nous aideront à cerner nos lacunes sur le plan des connaissances, mais des données supplémentaires seront nécessaires lorsque viendra le temps de les modifier. Par exemple, il faut savoir comment les sols forestiers réagiront à un changement du climat et évaluer les répercussions de ce phénomène sur l'humification et la minéralisation.

Association des données instrumentales sur le changement climatique aux écosystèmes forestiers

Les données instrumentales recueillies au cours du siècle dernier révèlent à la fois les tendances à long terme et les fluctuations à court terme. On devra mieux intégrer les données climatiques et celles sur la croissance des forêts en vue d'établir l'utilité et la fiabilité des indicateurs climatiques comme le taux de croissance des arbres, la gravité des infestations et des épidémies ou la fréquence des feux de forêt et des tornades. Forêts Canada peut s'en charger en collaboration avec d'autres organismes.

Intégration des données sous forme de modèles prévisionnels

L'information recueillie lors des études paléoclimatiques et historiques servira à construire des modèles empiriques qui permettront de prévoir les modifications au taux de croissance, aux risques d'incendie ou d'infestation, etc. Toutefois, il faudrait auparavant améliorer et mettre à jour les données canadiennes sur la croissance et le rendement, notamment faire la synthèse des données sur le climat/la pollution ainsi que sur la croissance et le rendement, pour mieux cerner l'effet des paramètres environnementaux sur la forêt. On pourra enfin évaluer les changements attendus lorsque les chercheurs émérites parviendront à un consensus au terme d'un long débat. Forêts Canada se servira alors de ces modèles pour examiner le recul des forêts et partagera les résultats de ses travaux avec d'autres organismes.

Surveillance du changement

Une surveillance quelconque s'impose si l'on veut s'assurer de la direction et de l'ampleur de l'adaptation des forêts au changement climatique. Pour cela, il faudra jauger une série de variables climatiques et forestières durant une longue période. Heureusement, on possède déjà la majorité des données nécessaires, il ne reste plus qu'à trouver comment les exploiter. Parallèlement, on devra exercer une surveillance accrue sur les zones forestières. Il faudra relier au climat des paramètres déterminants comme la fréquence et la gravité des feux de forêt, les infestations des insectes ravageurs, les épidémies et les dommages abiotiques. Les changements que subit l'écosystème forestier et qui trouvent leur manifestation dans le nombre et l'importance des feux de forêt, la réussite ou l'échec des projets de régénération ainsi que les modifications dans la distribution et la variété des espèces devraient être mieux documentés par Forêts Canada. De cette façon, on pourra vérifier si les changements prévus se produisent bien et modifier la stratégie d'adaptation en conséquence. Forêts Canada exploite déjà une série de parcelles de surveillance, le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA), sous le couvert du Relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA). Ces parcelles nous donnent une idée des changements qui surviennent dans la forêt et constituent l'épine dorsale d'un mécanisme qui servira à surveiller le changement climatique. Forêts Canada aura de multiples occasions de coopérer à cette surveillance avec d'autres ministères, le secteur privé, les universités et les provinces.

Atténuation des conséquences du changement climatique

On pourrait atténuer les risques d'une trop grande incidence du changement climatique sur la foresterie en raccourcissant la période d'exposition des peuplements aux nouvelles conditions, en étendant le nombre d'espèces et de lots de semences utilisés pour le reboisement et en améliorant les mesures de protection des forêts. L'infrastructure nécessaire sur le plan de la recherche existe déjà, mais la science devra s'engager dans de nouvelles avenues dans plusieurs domaines, notamment la physiologie des arbres. L'analyse des systèmes de gestion forestière permettra aux aménagistes de réduire la période de rotation et donc d'atténuer l'incidence des principaux changements climatiques qui surviennent durant la vie du peuplement.

Il faut aussi mettre l'accent davantage sur la protection du pool génétique. On y parviendra en identifiant et en protégeant les espèces, les provenances et les variétés utiles. Une solution consisterait à créer des banques de matériel génétique dans les principales zones climatiques, surtout aux endroits où plusieurs zones se rencontrent. On possède déjà une somme appréciable de données sur les interactions du génotype et de l'environnement pour les principales essences forestières, grâce aux essais de provenances et à l'introduction d'espèces exotiques. Il faut cependant en apprendre davantage sur la diversité génétique des espèces indigènes et voir si les génotypes peuvent survivre à un changement climatique. Par la sélection, on pourra introduire dans le patrimoine héréditaire de nouvelles propriétés comme la résistance à la sécheresse et d'autres paramètres physiologiques. Parallèlement, on pourra orienter la recherche en génétique afin d'exploiter les aspects du changement climatique intéressants pour la foresterie.

À l'heure actuelle, les organismes canadiens de lutte contre le feu constatent qu'un pas à peine sépare les incendies qu'on peut circonscrire de ceux qu'il est impossible de maîtriser. Le réchauffement du globe aggravera ce problème de façon dramatique. L'intensité des feux de forêt est étroitement apparentée aux fluctuations à court terme de la température à certains endroits. S'il est actuellement impossible de faire des prévisions sur les variables météorologiques à court terme qui déclenchent les incendies de forêt et modifient le comportement du feu, il faudrait déterminer si l'on peut prévoir les paramètres à plus long terme qui influent sur l'intensité générale des feux, d'une année à l'autre. Ces études pourraient porter notamment sur la circulation des courants atmosphériques, la fréquence des violents orages et les périodes de sécheresse prolongées. De meilleures prévisions à cet égard sont réalisables, ce qui donnera aux gestionnaires des feux les renseignements cruciaux dont ils ont besoin pour forger une stratégie. La Méthode canadienne

d'évaluation des dangers d'incendie de forêt est désormais en place et devra bénéficier d'un soutien continu, car le changement climatique modifiera constamment les règles du jeu.

On pourra réduire les pertes potentielles de bois attribuables aux insectes et aux maladies par l'intensification des recherches et des travaux techniques, par une surveillance plus sévère des ravageurs et par une meilleure intégration des techniques de lutte.

Le bilan carbonique — solution offerte par la foresterie

Le dioxyde de carbone est le principal facteur à l'origine du changement climatique et devrait le rester à court terme. On attribue principalement la hausse de la concentration de gaz carbonique aux émissions issues des combustibles fossiles et en partie au mode d'utilisation des terres, en particulier au déboisement. À la fin du colloque international sur l'atmosphère en évolution de juin 1988, on avait recommandé de réduire les émissions de CO_2 de 20 % d'ici 2005. La collectivité forestière peut contribuer sensiblement à la réalisation de cet objectif sur les plans suivants:

- utilisation accrue de la biomasse forestière pour la production d'énergie afin de diminuer la consommation de combustibles fossiles;
- accroissement de la protection à long terme des réserves de carbone par le stockage de cet élément dans la biomasse des vieux peuplements, des forêts tropicales, des sols forestiers, du pergélisol et des tourbières;
- stabilisation de la quantité de carbone fixée grâce à la substitution des produits à forte consommation d'énergie par des dérivés du bois qui emprisonnent le carbone;
- restauration plus active des réserves de carbone par le reboisement et la création de forêts artificielles en bonne santé et à croissance rapide.

Ces possibilités montrent comment le secteur forestier peut contribuer à la réalisation d'un développement durable face au changement rapide et inévitable de l'environnement.

Projets et priorités de Forêts Canada en matière de recherche sur le changement climatique

Approche

Forêts Canada doit réagir aux changements environnementaux qui touchent la collectivité forestière dans son ensemble, même si l'on ignore exactement le moment où ces changements se produiront et leur ampleur. Quand les conséquences apparaîtront clairement, l'écosystème forestier aura déjà subi des modifications importantes irréversibles. Par conséquent, il faut développer sans plus tarder un programme scientifique qui apportera les réponses aux problèmes qui découlent du changement climatique.

Le degré d'expertise et les activités de Forêts Canada nous permettent déjà de nous orienter dans une certaine mesure. Au cours des quelques prochaines années, Forêts Canada devra être en mesure de donner la «meilleure estimation possible» de la réaction des forêts aux scénarios les plus couramment acceptés en ce qui concerne le changement climatique et proposer les mesures d'adaptation et d'atténuation appropriées tout en poursuivant un programme de recherche mieux déterminé sur les conséquences spécifiques du changement climatique. Forêts Canada appliquera donc immédiatement le programme suivant :

1. Surveillance des changements antérieurs et prévision des changements à venir, y compris analyse des tendances relatives aux incendies de forêt, études dendrochronologiques, examen des anciens phénomènes climatiques et de leurs effets sur le recul des forêts et maintien des programmes DNARPA/RIMA.

2. Recherche axée sur les processus de croissance et de développement des écosystèmes forestiers, y compris recherche sur la succession des peuplements, la variation des essences forestières, l'écophysiologie des espèces d'arbres ainsi que la biologie des ravageurs et des agents pathogènes dans le cadre de divers scénarios sur le changement climatique.

3. Intégration des données afin de les transformer en instruments utiles pour la prise de décisions, par le biais de systèmes de gestion forestière.

4. Transfert de l'information et de la technologie au secteur forestier pour le conseiller sur la nature et l'ampleur du problème ainsi que les solutions éventuelles.

5. Collaboration avec la collectivité scientifique au Canada et à l'étranger en vue de coordonner et d'améliorer le travail dans tous les secteurs qui précèdent.

Pour réaliser ces objectifs, on devra exploiter les points forts de l'organisation. Les chercheurs spécialisés dans le changement climatique sont peu nombreux, mais il existe une expertise suffisante pour coordonner et orienter la recherche par le biais de bourses postdoctorales ou de contrats. Cette solution devrait être exploitée au bénéfice du programme. Dans la mesure du possible, on tentera également de se servir des fonds existants du crédit A dans les domaines connexes pour soutenir la réalisation des objectifs de la recherche sur le changement climatique. En outre, on devrait recourir le plus possible au programme de soutien de la recherche coopérative de Forêts Canada et du CRSNG qui fixe le **changement atmosphérique** comme l'un des secteurs stratégiques de recherche scientifique et technique, afin d'appuyer la recherche sur le changement climatique.

Priorités

On s'attaquera à chacun des cinq grands domaines de recherche identifiés plus haut au cours de la période allant de 1990 à 1995. Pour cela, on adaptera les projets de recherche en cours au Ministère ou utilisera leurs résultats, en plus d'entreprendre de nouveaux travaux précisément axés sur les objectifs relatifs au changement climatique chaque fois que les ressources le permettent. Les efforts prendront essentiellement la forme suivante :

1. Prévision du climat — Pour un aménagement des forêts mieux planifié, on a besoin de projections sur le climat probable dans l'avenir. Forêts Canada y veillera en partie en précisant les relations qui existent entre le climat préhistorique et l'écosystème forestier puis en transformant les données recueillies en modèle des forêts de l'avenir. On accordera la priorité à l'analyse palynologique et dendroclimatologique de la croissance des arbres. On créera également un modèle qui simulera la succession des peuplements forestiers afin de mieux cerner les effets d'un changement général du climat.

2. Prévision de la réaction des forêts — Les aménagistes auront besoin de projections sur le comportement des forêts pour formuler des recommandations en vue d'une meilleure adaptation au changement climatique. On se penchera notamment sur la physiologie de l'arbre, les facteurs qui contrôlent le reboisement, la variation des essences forestières ainsi que les effets des polluants, des incendies, des insectes et des maladies.

Physiologie de l'arbre — On poursuivra les recherches sur l'écophysiologie des arbres, les relations avec l'eau, la photosynthèse, la dormance et la nutrition.

Facteurs contrôlant le rebroisement — Forêts Canada dispose d'une vaste somme de données sur les techniques de reboisement et les paramètres qui en déterminent la réussite. Le Ministère intégrera ces données aux systèmes de gestion forestière pour que les aménagistes disposent des informations qui les aideront le mieux à maintenir la productivité des forêts.

Variation des essences forestières — Dans l'avenir, les arbres pousseront dans un nouveau milieu ambiant. Forêts Canada possède la meilleure base de données du Canada sur la croissance des arbres de différentes origines dans les conditions climatiques actuelles. On exploitera cette base de données pour l'analyse des renseignements sur les provenances d'une vaste gamme d'essences forestières. On pourra déduire le mode de croissance des arbres dans l'avenir par recoupement, en examinant les données relatives aux effets du climat sur le matériel génétique forestier cultivé et étudié pendant une période de 20 à 40 ans, dans des conditions climatiques connues. Forêts Canada possède déjà ces données, mais il faut encore en effectuer la synthèse et l'évaluation, un aspect qui devrait faire l'objet de la plus haute priorité lors de la mise en œuvre du plan.

Effet des polluants — Les forêts de l'avenir subiront l'effet des polluants existants, peut-être même d'une concentration encore plus forte de ces derniers. Forêts Canada entreprendra des travaux relativement à l'incidence des polluants sur la végétation et offrira son soutien et sa collaboration à la recherche menée par d'autres. Pareilles recherches sont à la base des politiques qui faciliteront l'adaptation aux effets de ces polluants ou l'atténuation de ces derniers.

Dommages aux forêts — Il est capital qu'on perfectionne les systèmes de prévision du comportement du feu et qu'on cerne mieux les répercussions du changement climatique sur la fréquence des incendies de forêt. Forêts Canada continuera de mettre à jour le système d'évaluation des risques d'incendie forestier pour que les aménagistes disposent des instruments nécessaires à la lutte contre le feu.

Forêts Canada poursuivra ses recherches sur la dynamique des insectes et des maladies, et essaiera de relier les modifications de l'habitat et des populations au changement du climat. L'étude des liens qui existent entre les dommages et le changement climatique est un secteur de recherche particulièrement prometteur qui devrait bénéficier de la plus haute priorité.

Recul des forêts — On a associé la régression des essences forestières à des phénomènes météorologiques inhabituels que compliquent d'éventuels changements climatiques à long terme. La régression est souvent très importante et entraîne de graves conséquences biologiques et économiques. C'est pourquoi Forêts Canada intensifiera les recherches sur le recul des forêts.

3. Surveillance du changement — Forêts Canada maintiendra ses systèmes de détection existants, notamment le programme DNARPA, les techniques de détection (par exemple balayeur-imageur électro-optique à détecteurs multiples) et le contrôle des indicateurs relatifs aux feux de forêt, aux infestations et aux épidémies. Pour que les systèmes actuels puissent être appliqués à la prévision du climat, il est essentiel d'étendre le réseau pour y intégrer les projections sur le changement climatique. Une surveillance plus étroite s'impose donc aux endroits où on prévoit les changements les plus importants.

4. Atténuation des conséquences d'un changement climatique — Forêts Canada élaborera des systèmes de gestion forestière fondés sur les données scientifiques actuelles et recueillera de nouveaux renseignements quand le besoin s'en fera sentir. Il est essentiel d'intégrer les données recueillies au cours des 50 à 80 dernières années si l'on veut aider les promoteurs et les décideurs à mieux fonctionner dans le cadre d'un nouvel ensemble de données qui peut encore changer.

5. Le bilan carbonique : la foresterie, source du problème ou solution? — Forêts Canada continuera d'appuyer et de poursuivre des recherches sur la production de biomasse, le bilan carbonique des forêts et la capacité de production des essences forestières. Pour cela, il recourra en partie à son programme de recherche, mais mettra surtout l'accent sur l'interaction avec d'autres organismes et programmes comme l'AIE, ENFOR et sur la sous-traitance de projets à d'autres intervenants.

Mise en œuvre

Les programmes qui précèdent seront dirigés par les centres régionaux et les instituts nationaux de Forêts Canada. Certains établissements deviendront le point de mire ou un centre d'expertise de certains volets du programme sur le changement climatique quand son application s'accélérera au cours des deux prochaines années. La coordination générale du programme sera assurée par le coordonnateur de la Direction générale des sciences forestières pour le changement climatique, par le groupe de travail de Forêts Canada sur le changement climatique et par la direction des programmes de sciences et de technologie qui pourraient contribuer au financement de certaines activités relatives au changement climatique.

Annexe. Les recherches actuelles de Forêts Canada et le changement climatique

Prévision du climat

De quelle façon le climat changera-t-il dans l'avenir et quelles données Forêts Canada dispose-t-il pour effectuer pareilles prévisions? Compte tenu du programme existant, deux approches peuvent être envisagées:

a) Établir le lien entre les changements climatiques de la préhistoire et les écosystèmes forestiers, puis intégrer les résultats aux modèles prévisionnels — À l'Institut forestier national de Petawawa (IFNP), on poursuit des recherches sur les aspects météorologiques et climatologiques du changement climatique et de la pollution atmosphérique ainsi que sur le recul des peuplements d'épinettes blanches grâce à une approche dendroclimatologique.

b) Rattacher les données instrumentales relatives au changement climatique à l'écosystème forestier et intégrer les résultats aux modèles prévisionnels — Dans la région du Nord-Ouest, on tente d'évaluer les effets de la période de réchauffement qui est survenue vers le milieu de l'Holocène sur la dynamique des terres humides, dans le cadre d'études paléo-écologiques. Des résultats, on dérivera les paramètres paléoclimatiques pour cette période. On identifie également les zones écoclimatiques du Canada d'après la succession des essences forestières et établit les paramètres écologiques fondamentaux pour des régions analogues. Les zones écoclimatiques permettent ensuite de déterminer l'écoclimat éventuel, advenant le doublement de la concentration de dioxyde de carbone, et de mesurer les incidences possibles d'un changement climatique sur la foresterie dans la région des Grands Lacs. Les chercheurs examinent également l'étendue actuelle de nos connaissances sur le changement climatique qui pourrait résulter d'une accumulation du gaz carbonique et évaluent les répercussions de ce phénomène sur la forêt boréale dans l'intérieur des provinces de l'Ouest.

Enfin, on tente de brosser un tableau général de la variabilité du climat et du changement climatique ainsi que de leurs effets sur la dynamique des forêts dans l'ouest du Canada.

Prévision de la réaction des forêts

Comment les forêts réagiront-elles au changement prévu? Quels paramètres fondamentaux nous permettraient d'évaluer cette réaction? Pour répondre à ces questions, il faut entreprendre des recherches sur les processus forestiers qui révéleront les indicateurs du changement climatique. Les processus en question ont trait à la physiologie des arbres, aux facteurs contrôlant le reboisement, à la variation des essences forestières ainsi qu'aux effets des polluants, des incendies, des ravageurs et des maladies. Un autre point capital consiste à intégrer ces données en vue d'expliquer le recul des forêts.

Physiologie des arbres

Des recherches écophysiologiques sur les relations hydriques, la photosynthèse et la nutrition se poursuivent à Terre-Neuve. Au Québec, on a entrepris des travaux plus détaillés afin de préciser les effets du gel sur les semis. Ces recherches sont complétées par des études qui devraient nous renseigner sur l'influence de la photopériode sur l'endurcissement, la nutrition minérale et le stress subi par les semis. Des recherches sur le terrain complémentaires (survie et croissance, taux d'évaporation des semis en contenants, relations hydriques au champ, stress hydrique et valeur des méthodes de dosage de la teneur en eau) ont été entreprises au Québec.

Dans la région des Maritimes, on se penche sur les effets d'une hausse de la concentration de dioxyde de carbone dans les serres. Les données recueillies serviront à la conception de modèles basés sur différents processus.

Facteurs contrôlant le reboisement

La plupart des établissements de Forêts Canada poursuivent des recherches sur le reboisement, notamment l'implantation des peuplements, la gestion de la végétation, les mécanismes d'enrichissement du sol (Terre-Neuve), la microflore tellurique, le dépôt de la litière, le taux de renouvellement des éléments nutritifs (Maritimes) et les effets du changement climatique sur la dynamique du sol forestier (IFNP).

En Ontario, on s'intéresse à l'écophysiologie, plus particulièrement à la concurrence entre les feuillus et les résineux, aux stratégies de désherbage et au problème de l'implantation des conifères sans recours aux herbicides.

Dans la région du Pacifique et du Yukon, on procède à des recherches sur l'incidence environnementale des pratiques forestières, de même que sur les interactions avec d'autres utilisateurs de la forêt.

Enfin, en Ontario et à Terre-Neuve, on se penche sur les conséquences du drainage des tourbières et tente de prévoir les répercussions d'un changement climatique.

Variation des essences forestières

Des études à long terme sur les interactions des espèces et des provenances avec l'environnement se poursuivent à Terre-Neuve, dans les Maritimes, au Québec, dans la région du Nord-Ouest ainsi qu'à l'IFNP où on a également entrepris des travaux sur la reproduction d'épinettes noires venant de divers peuplements, les propriétés d'adaptation de cette espèce et sa réaction au changement climatique.

Au début, les essais de provenances avaient pour but d'étudier la variation génétique des espèces d'importance commerciale en vue d'identifier les variétés les mieux adaptées au reboisement. Pour cela, on supposait un climat constant, hypothèse qui n'est désormais plus valable. Toutefois, les essais de provenances ont permis l'accumulation d'une vaste somme de données sur le matériel génétique. Ces données ont été recueillies durant la période de 20 à 40 ans qui a échappé au changement climatique et au cours de laquelle on a longtemps contrôlé la croissance des génotypes, dans des conditions climatiques connues. Forêts Canada a maintenant l'occasion unique d'étudier les effets d'un changement du climat sur les essences forestières.

Effets des polluants

Dans la région des Maritimes, on simule les effets des pluies acides sur la cuticule, la reproduction, les interactions du transport des polluants atmosphériques sur de longues distances avec les essences forestières ainsi que les relations entre la végétation et l'atmosphère. On poursuit aussi des travaux sur les liens qui existent entre le brouillard acide et le dépérissement des peuplements de bouleaux, tandis qu'un projet coopératf avec le USFS porte sur le recul des peuplements d'épinette rouges dans le nord-est des États-Unis et au Canada. Enfin, on examine les effets de l'ozone et du changement de la température sur les variables physiologiques et morphologiques de la cime des érables à sucre.

Dommages aux forêts

Les projets de recherche visant à développer des systèmes qui permettraient de prévoir le comportement du feu se poursuivent dans la région du Nord-Ouest. À l'IFNP et dans la région de l'Ontario, on s'intéresse à l'impact du doublement de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère sur la fréquence des feux de forêt.

On a lancé des recherches sur le rôle des pathogènes dans l'implantation hâtive et l'entretien des peuplements existants ou à venir en Ontario.

Dans la région du Pacifique et du Yukon, on étudie la lutte contre les ravageurs forestiers, les systèmes intégrés de lutte contre les ravageurs des conifères, la lutte biologique contre les insectes et

les parasites des peuplements régénérés. Enfin, à l'IFNP, on s'intéresse à l'incidence environnementale des pesticides utilisés en foresterie sur les écosystèmes forestiers.

Recul des forêts

Le travail de Forêts Canada à cet égard se concentre au Québec. Il porte sur les feuillus, la réaction de l'érable à sucre et du cycle des éléments nutritifs au stress climatique par rapport à la réaction des polluants, l'évaluation des facteurs de stress et de leur différentes répercussions sur la forêt, le changement climatique, les conséquences de ce changement sur la vigueur et la productivité des forêts et l'incidence d'un changement climatique sur la forêt boréale. Forêts Canada coopère avec l'IIASHN dans le cadre d'une étude ayant trait à l'impact du changement climatique sur les forêts nordiques et leurs limites.

Dans la région du Nord-Ouest, on s'intéresse à l'incidence probable du changement climatique sur l'écosystème forestier et examine les techniques qui permettraient d'en estimer les répercussions pour la foresterie.

Dans la région du Pacifique et du Yukon, on tente de créer un modèle mécanique de l'écosystème du douglas taxifolié à partir de données biolcgiques ainsi que des méthodes qui serviront à évaluer les effets des traitements sylvicoles sur la croissance et le rendement, cela dans le but d'améliorer les pratiques de gestion forestière.

Surveillance du changement

Plusieurs questions abordées à la section intitulée «Prévision de la réaction des forêts» se rattachent à la surveillance du changement climatique. On pourrait, par exemple, mentionner les essais de provenances visant à évaluer différents génotypes dans de nouvelles conditions thermiques et hygrométriques, l'évolution de la végétation des tourbières et des relations hydriques à la suite d'un réchauffement du climat ainsi que l'estimation des conséquences d'un changement climatique sur la vigueur et la productivité des forêts d'après l'impact de ce changement sur la forêt boréale. Dans la région de l'Ontario, l'analyse biochimique des eaux des lacs Turkey sert à contrôler la concentration des éléments nutritifs et les mécanismes qui déterminent la disponibilité de ces éléments.

Les principales activités de Forêts Canada en ce qui concerne la surveillance ont trait au DNARPA et au RIMA. Ces programmes permettent de déceler et de surveiller respectivement les changements au niveau de la vigueur des forêts et les dommages causés par les insectes et les maladies. Ces travaux se poursuivent à la plupart des établissements. À ces aspects se rattache la recherche sur la dynamique de population des ravageurs et sur la réaction des populations d'insectes aux phénomènes météorologiques. La distribution des insectes subit souvent l'influence de la température et des conditions météorologiques. Des variations sur ce plan pourraient donc annoncer un changement du climat.

La fréquence et la violence des feux de forêt varient rapidement avec la température et l'humidité. La forte et récente extension des terres incendiées au Canada semble confirmer le changement climatique prévu par d'autres moyens. C'est pourquoi on l'étudie sous cet angle. Les recherches sur la propagation et le comportement du feu de même que la densité des combustibles fournissent des données en vue de la création de modèles prévisionnels et contribuent à la liaison avec d'autres gouvernements (région de l'Ontario).

L'IFNP élabore de nouvelles techniques qui pourraient s'avérer fort utiles pour l'acquisition des données permettant de contrôler les changements. La mise au point d'un balayeur-imageur électro-optique à détecteurs multiples pour surveiller la réaction de la végétation forestière au changement climatique et à la pollution de l'atmosphère en est un bon exemple.

Atténuation des conséquences du changement climatique

On se servira des renseignements recueillis dans le cadre du programme de recherche de Forêts Canada pour atténuer les conséquences d'un changement climatique. Les données sur la physiologie des arbres faciliteront le choix de végétaux mieux adaptés au reboisement, celles sur l'écosystème contribueront à l'application de meilleures techniques d'aménagement du site, les essais de provenances donneront des génotypes mieux acclimatés aux nouvelles conditions qui continueront d'évoluer, la surveillance favorisera l'adoption d'une approche systémique à la gestion des dommages que devraient entraîner l'élévation des températures et le plus grand stress subi par les forêts. À Terre-Neuve et dans la région du Nord-Ouest, les recherches montrent qu'on peut modifier les pratiques de récolte de manière à influer sur la succession des espèces après la perturbation de l'écosystème.

À l'IFNP, l'amélioration génétique des épinettes noires de différentes origines et l'étude des caractères d'adaptation ont permis d'identifier des génotypes qui tolèrent beaucoup mieux la sécheresse. À Terre-Neuve, on a constaté qu'un petit nombre d'épinettes de Sitka pouvaient s'adapter à des conditions climatiques fort différentes de leur habitat naturel. Ces progrès minuscules révèlent que l'on connaît sans doute très peu de choses sur la capacité d'adaptation des essences forestières et qu'il existe de fortes possibilités pour qu'on obtienne de nouveaux génotypes acclimatés aux nouvelles conditions.

Plusieurs établissements poursuivent des recherches sur les systèmes de gestion forestière de même que les façons d'améliorer l'implantation et l'entretien des peuplements. Il est capital d'intégrer les données recueillies au cours des 50 à 80 dernières années si l'on veut aider les promoteurs et les décideurs à mieux gérer les forêts dans l'avenir.

Le bilan carbonique : la foresterie, source du problème ou solution?

On pense que les pratiques de gestion forestière augmentent légèrement la quantité de carbone libérée, mais elles pourraient également contribuer à la résolution du problème. En tant qu'organisme de recherche national, Forêts Canada essaiera de recueillir des renseignements sur ces deux hypothèses.

Dans le cadre du programme ENFOR, Forêts Canada parraine des recherches qui préciseront le bilan carbonique des forêts canadiennes. Ce programme a déjà débouché sur la publication d'un inventaire de la biomasse au Canada, inventaire qui permet aux gestionnaires et aux promoteurs d'étudier le problème tant sous l'angle de la recherche, où on constate qu'il faut encore plus de renseignements, que sous celui du développement de politiques visant à exploiter la biomasse pour la production d'énergie. À l'IFNP, on évalue la biomasse du pin gris et du pin rouge dans l'espoir de mieux comprendre l'écologie de ces deux espèces.

Forêts Canada occupe une grande place dans l'entente sur la bioénergie de l'Agence internationale de l'énergie, dont le but est de rassembler des renseignements sur les possibilités de production des genres *Salix*, *Populus* et *Alnus* en vue d'un plus vaste projet coopératif sur l'utilisation de la biomasse pour la production d'énergie. D'autres espèces seront également étudiées dans l'avenir. Si les données recueillies seront fort utiles du point de vue scientifique, elles montreront également comment lancer de grands projets de reboisement comme ceux envisagés pour favoriser la fixation du carbone atmosphérique.